

**SINTESIS KEMASAN POLIVINIL ALKOHOL-MONTMORILONIT-
SELULOSA WHISKERS DAN APLIKASINYA SEBAGAI INDIKATOR
KEMUNDURAN MUTU IKAN**

Marlon Jusak Rinaldy Benu¹, Tun Tedja Irawadi², Henny Purwaningsih²

1. Pendidikan Kimia FKIP Universitas Nusa Cendana, 2. Kimia FMIPA Institut Pertanian Bogor

Email : uzac.benu@gmail.com

ABSTRAK

Kemasan cerdas adalah kemasan yang dapat memberikan informasi bagi konsumen. Salah satu informasi yang dapat diberikan adalah kesegaran makanan yang dapat dilihat dari perubahan warna pada kemasan. Pada penelitian ini, kemasan cerdas dibuat dari komposit plastik yang terdiri dari polivinil alkohol (PVA), montmorillonit (MMT), cellulose whiskers (CW), dan indikator asam basa. Selulosa whiskers dibuat dari ampas tebu dengan kandungan α -selulosa sebesar 74,33%. Spektrum inframerah menunjukkan puncak karakteristik pada 3700, 3000, 2963, 1234, 1073, dan 905 cm^{-1} . Morfologi permukaan selulosa whiskers menunjukkan bentuk serpihan-serpihan kecil dan analisis XRD menunjukkan bahwa fasa amorf telah dihilangkan dari isolat selulosa. Selain itu, terdapat puncak tajam pada selulosa terhidrolisis yang mengindikasikan terbentuknya fase selulosa whiskers. Indeks kristalin selulosa whiskers adalah 90,16%. Sifat mekanik komposit bervariasi sesuai dengan jumlah MMT dan CW yang ditambahkan. Spektrum inframerah menunjukkan munculnya puncak serapan baru pada 3776, 2910, dan 466 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya MMT dan CW di dalam komposit. Analisis XRD menunjukkan penambahan MMT dan CW menyebabkan pergeseran yang mengindikasikan perubahan struktur kristal. Kinerja plastik dievaluasi sebagai indikator kesegaran ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa plastik dari PVA-MMT-CW berpotensi sebagai kemasan cerdas.

Kata kunci : selulosa whiskers, montmorillonit, PVA, kemasan cerdas, bagas tebu

ABSTRACT

Smart packaging is packaging that can provide information for consumers. One of information that can be given is food freshness that can be seen from the color changes in the packaging. In this study, smart packaging was prepared from plastic composites that consist of polyvinyl alcohol (PVA), montmorillonite (MMT), cellulose whiskers (CW), and acid base indicator. Cellulose whiskers are prepared from sugarcane bagasse with α -cellulose content of 74.33%. The infrared spectrum showed characteristic peaks at 3700, 3000, 2963, 1234, 1073, and 905 cm^{-1} . The surface morphology of cellulose whiskers were found in the form of small flakes and XRD analysis showed that amorphous phase was removed from cellulose isolate. Furthermore, there was a sharp peak in hydrolyzed cellulose that indicated cellulose whiskers phase was formed. The cellulose whiskers crystalline index was 90.16%. The mechanical properties of composites were varies according to the amount of MMT and CW added. The infrared spectrum showed the appearance of new absorption peak at 3776, 2910, and 466 cm^{-1} that indicated the existence of the MMT and CW inside the composites. The XRD analysis showed the addition of MMT and CW causing a shift which indicated the crystal structure was changed. The performance of plastic composites was evaluated as an indicator for fish freshness. The result indicated that the plastic composite from PVA-MMT-CW was potential as a smart packaging

Keywords: cellulose whiskers, montmorillonite, PVA, smart packaging, sugarcane bagasse.

PENDAHULUAN

Kemasan cerdas atau *smart packaging* dirancang untuk dapat memonitor kondisi pangan yang dikemas atau lingkungan disekeliling. Sistem kemasan cerdas mampu menjalankan fungsi seperti penginderaan, mendeteksi, dan mengkomunikasikan kualitas atau kondisi pangan (Silvestre *et al.* 2011). Kemasan cerdas dapat bereaksi langsung terhadap perubahan kimiawi atau biologi suatu proses penurunan mutu sehingga dapat digunakan sebagai deteksi awal kerusakan produk. Penanda kerusakan pada makanan dapat dilihat dari tampilan fisik atau dipantau melalui kandungan kimia yang dilepaskan pada saat terjadi kerusakan seperti trimetilamina (TMA), amonia (NH_3), dan dimetilamina (DMA) atau yang disebut dengan *total volatile basic nitrogen* (TVBN). Penggunaan indikator asam basa yang tepat dapat memberikan informasi awal terjadinya kerusakan pada suatu makanan (Chaudhry *et al.* 2008).

Polivinil alkohol (PVA) adalah polimer yang mudah larut dalam air, mudah terdegradasi, memiliki sifat termal dan mekanik yang baik dan transparan sehingga baik digunakan sebagai bahan dasar plastik kemasan (Tang & Alavi 2011). PVA memiliki kekuatan tarik dan modulus tarikan tiga kali lebih baik dibandingkan *low density polyethilen* (LPDE) dan *low linier density polyethilen* (LLPDE) (Jamshidian *et al.* 2010).

Peningkatan sifat fisik seperti kuat tarik, elastisitas dan daya tahan terhadap panas dari PVA telah terbukti dapat dilakukan dengan penambahan montmorilonit kedalam matriks polimer (Pluta *et al.* 2002, Azeredo 2009). Selulosa *whiskers* adalah material hasil modifikasi selulosa yang memiliki indeks kristalinitas, luas permukaan, dan kemampuan dispersi yang tinggi, dapat dibiodegradasi serta memiliki ukuran 100-1000 nm sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan untuk memperkuat polimer (Azeredo 2009). Penelitian ini menggunakan selulosa *whiskers* yang diperoleh dari bagas tebu karena berdasarkan bobot keringnya memiliki kandungan selulosa yang mencapai 52.7% (Samsuri *et al.* 2010). Penelitian ini bertujuan membuat selulosa *whiskers* dari bagas tebu dan diaplikasikan untuk pembuatan plastik berbahan dasar PVA, montmorillonit, dan selulosa *whiskers* dengan penambahan indikator asam basa sebagai indikator untuk perubahan warna.

METODE PENELITIAN

Isolasi Selulosa Bagas Tebu

Sampel bagas tebu dikeringkan dan dihaluskan hingga berukuran 100 mesh. 6 g sampel dilarutkan dalam 400 mL aquades kemudian diaduk selama 5 menit kemudian disaring. Residu dikeringkan pada suhu 50°C hingga bobotnya konstan (A). 5 g sampel A ditambahkan 95 mL larutan NaOH 4%, dipanaskan pada suhu 80°C selama 4 jam. Campuran disaring dan residu dicuci dengan aquades hingga pHnya tidak berubah, kemudian dikeringkan pada suhu 50°C hingga bobotnya konstan (B). 20 g sampel B ditambahkan 500 mL larutan H_2O_2 5% dan dipanaskan dalam penangas air bersuhu 70 °C selama 3 jam kemudian disaring dan endapan dicuci dengan aquades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven bersuhu 60 °C. Perlakuan dengan larutan peroksida di ulangi 2 kali. Residu yang diperoleh adalah selulosa bagas tebu.

Pembuatan Selulosa *Whiskers*

Sebanyak 5 g selulosa bagas tebu dilarutkan dalam 100 mL H_2SO_4 6M pada suhu 45 °C selama 120 menit. Selanjutnya ditambahkan 500 mL akuades dingin dan disentrifugasi pada 10.000 rpm selama 10 menit. Hasil sentrifugasi selanjutnya disonikasi selama 10 menit. Selulosa *whiskers* yang dihasilkan dianalisis kadar holoselulosa, alfaselulosa, hemiselulosa, dan lignin kemudian gugus fungsinya dengan FTIR, morfologi permukaanya dengan SEM dan uji kristanilitas dengan XRD.

Preparasi Plastik Komposit

Plastik dibuat dengan melarutkan 10 g PVA dalam air panas (90 °C). sejumlah larutan montmorillonit dicampur untuk membentuk larutan gel. Selanjutnya selulosa *whisker* ditambahkan ke campuran dengan pengadukan kontinu dan dilanjutkan dengan sonikasi selama 20 menit,

kemudian larutan indikator ditambahkan ke dalam campuran dan diaduk sampai homogen selama 10 menit. Plastik indikator dicetak pada plat kaca dan disimpan pada suhu ruang selama 24 jam.

Tabel 1. Variasi pembuatan plastik komposit

Sampel	PVA (g)	MMT (phr)	CW (phr)
A		0	0
B		1	0
C		3	0
D	10	5	0
E		7	0
F		5	3
G		5	5
H		5	7

Pengujian pada Sampel Ikan

Disiapkan filet ikan segar di dalam wadah yang ditutupi plastik indikator dan diletakan pada suhu rendah. Dilihat perubahan warna indikator yang terjadi.

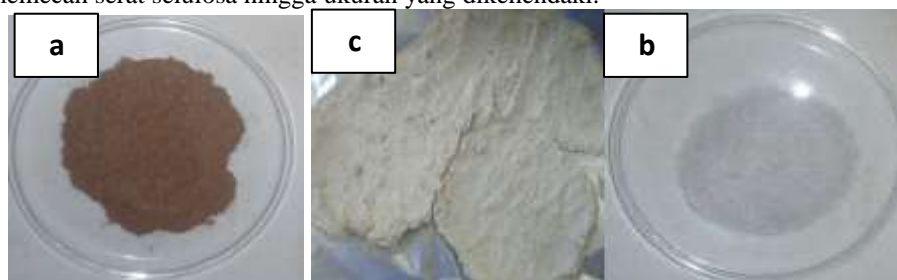
Pengujian Kadar TVB-N pada Sampel Ikan

10 g sampel dihaluskan kemudian ditambahkan 14.3 mL HCl dan 42.8 mL akuades. Campuran disaring, sebanyak 5 mL filtrat diambil dan dimasukkan ke dalam labu distilasi. Kemudian ditambahkan 150 mL akuades dan 50 mL NaOH 40%. Larutan didistilasi selama 10 menit dan hasilnya ditampung di dalam erlenmeyer yang telah berisi asam borat dan indikator BCG-MM. Larutan dititrasi dengan HCl 0.1 N. Titrasi dihentikan ketika terjadi perubahan warna dari biru menjadi jingga.

HASIL

Isolasi dan Pencirian Selulosa

Isolasi selulosa dari bagas tebu pada penelitian ini diawali dengan tahapan delipifikasi, penghilangan hemiselulosa, dan delignifikasi. Proses delipidifikasi bertujuan menghilangkan lipid, gula, protein dan senyawa minor lainnya. Selanjutnya penghilangan hemiselulosa dilakukan dengan menggunakan NaOH, dan delignifikasi menggunakan H₂O₂. Pembuatan selulosa *whiskers* dilakukan melalui proses hidrolisis dengan H₂SO₄ dan ultrasonikasi. Proses hidrolisis dan ultrasonikasi bertujuan memecah serat selulosa hingga ukuran yang dikehendaki.



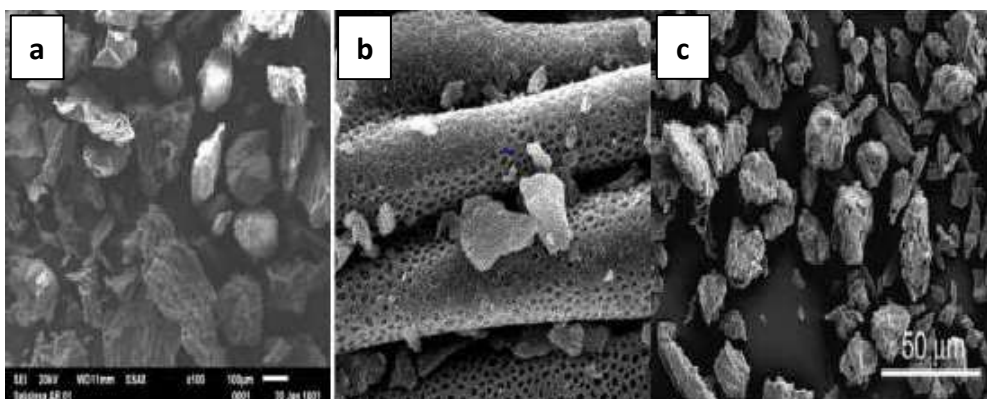
Gambar 1. (a) bagas tebu berukuran 100 mesh (b) bagas tebu setelah delignifikasi (c) serbuk selulosa

Keberhasilan tahapan isolasi selulosa ditunjukkan dengan adanya peningkatan kandungan α -selulosa dari 52.81% menjadi 74.33% dan juga penurunan hemiselulosa dan lignin masing-masing dari 22.64% menjadi 16.41% dan 20.36% menjadi 1.89%. Rendemen isolat selulosa 36.2% (Tabel 2)

Tabel 2. Hasil analisis komponen kimia

Referensi	Holosekulosa (%)	α -Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Rendemen (%)
Bagas tebu	76.93	52.81	22.64	20.36	-
Penelitian	96.84	74.33	16.41	1.89	36.2

Morfologi permukaan dari isolat selulosa diamati dengan *scanning electron microscope* (SEM) dan menunjukkan morfologi dari selulosa yang berbentuk serpihan- serpihan kecil (Gambar 2), yang diduga karena masih adanya kandungan lignin dan hemiselulosa pada isolat yang menyebabkan penggabungan antara partikel-partikel selulosa, dan juga sifat dari selulosa yang sering menyatu untuk membentuk serat yang lebih besar (Brinchi *et al.* 2013). Bentuk selulosa pada penelitian ini mirip dengan hasil dari Bondeson *et al.* (2006), dengan ukuran yang diperoleh pada penelitian ini berkisaran pada 1-100 μm . Bahmid *et al.* (2013) yang telah berhasil memperoleh selulosa dengan ukuran nanowhisker (Gambar 2b) juga menjelaskan bahwa selulosa paling baik mempertahankan bentuk *nanowhiskernya* dalam keadaan cair, tetapi dalam pengujian ini, selulosa dianalisis morfologinya dalam bentuk serbuk sehingga bentuk whiskernya tidak tampak dengan jelas.



Gambar 2. Analisis SEM (a) selulosa whisker (Bondeson *et al.* 2006), (b) selulosa whisker (Bahmid *et al.* 2013), (c) isolat selulosa pasda penelitian ini

Plastik PVA-MMT-CW

Plastik PVA-MMT-CW dibuat dengan melarutkan ketiga bahan tersebut dengan pelarut air dan ditambahkan indikator asam basa untuk membantu mendeteksi kerusakan ikan. plastik yang dihasilkan berbentuk lembaran berwarna merah (Gambar 3).



Gambar 3. Lembaran plastik

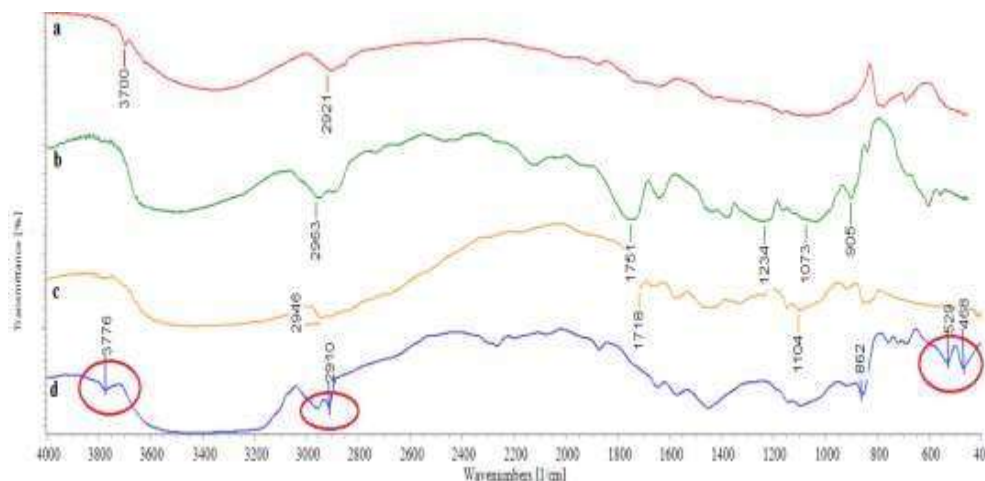
Sifat mekanik dari plastik komposit merupakan salah satu karakteristik yang paling menentukan kualitas plastik tersebut. Pada penelitian ini sifat mekanik yang diuji adalah kuat tarik yang menunjukkan besarnya tegangan maksimum yang dibutuhkan untuk membuat plastik tersebut menjadi rusak atau sobek dan perpanjangan putus merupakan indikasi panjangnya plastik tersebut dapat ditarik hingga putus (Ray *et al.* 2002).

Tabel 3 Nilai kuat tarik dan perpanjangan putus

Sampel	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)
A	117.6	98.54
B	102.9	101.08
C	161.7	106.22
D	210.7	67.58
E	44.1	13.93
F	156.8	109.46
G	83.3	79.24
H	98.0	75.54

Berdasarkan hasil analisis nilai kuat tarik dan perpanjangan putus untuk plastik tanpa adanya penambahan MMT dan SW adalah 117.6 MPa dan 98.54%, dan nilai kuat tarik dan perpanjangan putus plastik setelah adanya penambahan MMT dan CW berkisar diantara 83.3 – 210.7 MPa dan 13.93 – 109.46%. Peningkatan nilai ini terlihat pada penambahan MMT yang seiring meningkat dengan bertambahnya konsentrasi dari MMT, sedangkan penurunan nilai kuat tarik dan perpanjangan putus terjadi pada penambahan MMT dengan konsentrasi 7 PHR dan pada penambahan 5 PHR CW. Penurunan ini disebabkan karena semakin banyaknya jumlah pemlastis akan memberikan pengaruh terhadap agergasi partikel MMT dan CW sehingga menyebabkan aglomerasi (Wilkinson *et al.* 2007), yang tampak pada hasil SEM (Gambar 5). Petinakis *et al.* (2009) melaporkan kandungan pemlastis yang melebihi 5% dari berat polimer dapat menyebabkan terjadinya aglomerasi dan menurunkan nilai kuat tarik dan elastisitas dari sebuah plastik, sehingga penggunaan MMT dan CW dengan jumlah yang tepat sangat menentukan keberhasilan dari peningkatan sifat mekanis sebuah plastik.

Plastik komposit yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan spektrometer FTIR. Pengujian FTIR pada selulosa komersil juga dilakukan untuk membandingkannya dengan isolat selulosa yang dihasilkan dalam penelitian ini.



Gambar 4. Spektrum FTIR (a) selulosa komersil, (b) isolat selulosa, (c) PVA, (d) plastik PVA-MMT-CW

Tabel 4. Puncak serapan spektrum FTIR dari selulosa, PVA, dan plastik PVA-MMT- CW

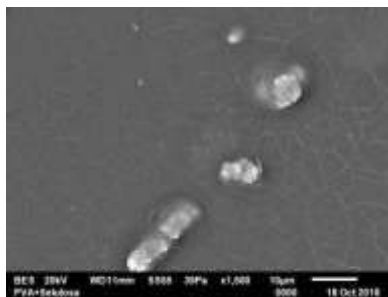
Sampel	Bilangan Gelombang (Cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Pustaka Acuan
Selulosa	3700	O-H	Khan <i>et al.</i> (2012)
	3000	O-H ulur	Sun <i>et al.</i> (2004)
	2963	C-H ₂ Ulur	Abidi <i>et al.</i> (2014)
	1234	O-H Tekuk	Sun <i>et al.</i> (2004)
	1073	C-O-C Cincin Piranosa	Sun <i>et al.</i> (2004)

	905	β -glikosida	Sun <i>et al.</i> (2004)
	3400	O-H	
PVA	2946	C-H	Abdelrazek <i>et al.</i>
	1716	C=O Ulur	(2010)
	1104	C-O	
PVA-MMT-SW	3776	O-H	Arjmandi <i>et al.</i>
	2910	C-H	(2015)
	466	Si-O	

Spektrum FTIR isolat selulosa menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 905 cm^{-1} yang merupakan serapan khas selulosa dari ikatan β -glikosida pada unit sakarida dan puncak yang muncul pada 1073 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C-O-C yang terdapat pada cincin piranosa selulosa. Bilangan gelombang 3600-3300 cm^{-1} merupakan puncak ikatan O-H yang intensitasnya bergantung pada semakin banyaknya selulosa yang dihasilkan. Bilangan gelombang 1234 cm^{-1} merupakan vibrasi gugus O-H tekuk pada selulosa, dan 3300 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur O-H. Bilangan gelombang 1382, dan 1442 cm^{-1} mencirikan adanya kandungan hemiselulosa, sedangkan serapan aromatik gugus lignin terdapat pada 1643 cm^{-1} (Khan *et al.* 2012). Hal ini sesuai dengan kandungan lignin pada isolat selulosa sebesar 1.89%.

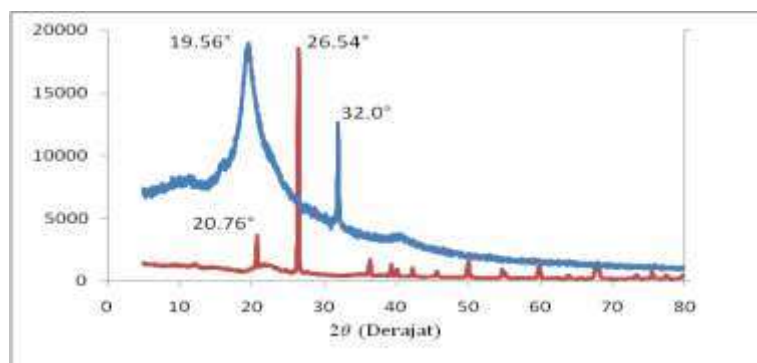
Hasil karakterisasi spektrum FTIR plastik komposit PVA-MMT-CW menunjukkan serapan yang mirip dengan PVA tanpa adanya penambahan MMT dan CW. Spektrum FTIR plastik komposit yang dihasilkan saat adanya penambahan MMT dan CW mengakibatkan perubahan yang khas dari bentuk dan intensitas puncak. Hal ini menjelaskan bahwa adanya interksi yang kuat, terutama karena ikatan hidrogen atau ikatan hidrofilik antara PVA, MMT, dan CW. Hal ini dapat dilihat dengan meningkatnya intensitas serapan pada daerah 3500-3200 cm^{-1} . Puncak baru yang muncul pada bilangan gelombang 529 dan 466 cm^{-1} adalah puncak yang mencirikan adanya Si-O dari MMT, sedangkan puncak lain dari serapan khas selulosa pada ikatan β -glikosida di unit sakarida juga muncul, akan tetapi bergeser ke daerah yang lebih rendah pada bilangan gelombang 862 cm^{-1} . Pergeseran bilangan gelombang karakteristik lainnya seperti yang terletak pada 3700, dan 2921 cm^{-1} bergeser ke 3776 dan 2910 cm^{-1} , menunjukkan adanya interaksi yang terjadi antara gugus hidroksil atau karbonyl dari PVA dengan gugus hidroksil dari selulosa, ataupun dengan gugus fungsional pada MMT. Pergeseran bilangan gelombang ini menggambarkan bahwa, penambahan material pendukung pada plastik dapat mengubah sifat dari plastik tersebut, dan sesuai dengan perubahan pada nilai kuat tarik dan perpanjangan putus saat adanya penambahan MMT dan CW.

Morfologi permukaan dari plastik yang dihasilkan dilihat dengan menggunakan SEM (Gambar 5). Hasil menunjukkan bahwa montmorilonit dan selulosa sudah tersebar merata pada permukaan plastik, tetapi masih adanya aglomerasi pada permukaan plastik. Aglomerasi pada permukaan plastik dapat disebabkan karena plastik komposit yang terbentuk belum homogen dan karena berat material penambah pada plastik sudah melebihi 5%, seperti yang dijelaskan Petinakis *et al.* (2009).



Gambar 5. Morfologi plastik PVA-MMT-CW

Kristanilitas plastik PVA-MMT-CW selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan XRD. karakterisasi juga dilakukan pada isolat selulosa untuk melihat pengaruh penambahan isolat selulosa terhadap plastik yang dihasilkan. Penentuan derajat kristanilitas dilakukan untuk melihat banyaknya kandungan kristal dalam plastik komposit.



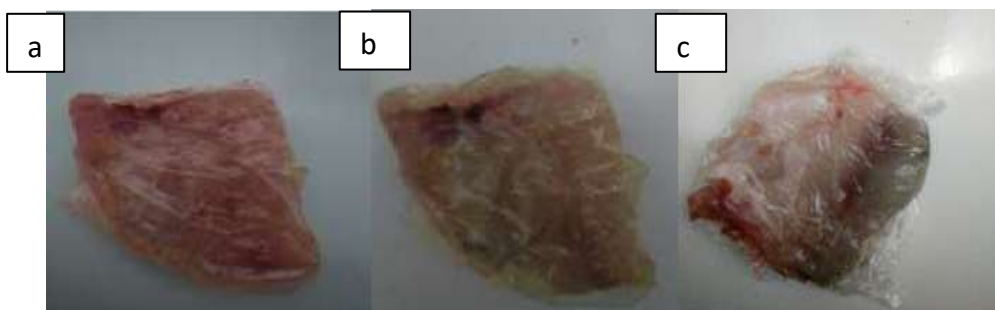
Gambar 6 Difraktogram XRD isolat selulosa (-) dan plastik PVA-MMT-CW (-)

Puncak tinggi pada difraktogram XRD isolat selulosa menunjukkan fase kristalin sedangkan puncak yang rendah menunjukkan bentuk amorfnya (Gambar 6). Keberhasilan pembentukan selulosa *whiskers* pada penelitian ini juga dapat dilihat dari tingkat kristalinitasnya. Selulosa *whiskers* memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi jika dibandingkan selulosa yang mempunyai bentuk amorf lebih banyak (Morais *et al.* 2011). Puncak utama 2θ pada penelitian ini adalah 20.73° dan 26.48° dengan derajat kristalinitas sebesar 90.16%. Tingginya derajat kristalinitas isolat selulosa pada penelitian ini menandakan bahwa selulosa *whiskers* berhasil diisolasi dari bagas tebu.

Difraktogram XRD pada plastik PVA-MMT-CW menunjukkan puncak utama 2θ pada 19.56° dan 32° yang mendekati puncak difraksi utama dari selulosa yang berada pada 20.76° dan 26.48° . Pergeseran pada intensitas puncak difraksi menunjukkan terjadinya perubahan struktur kristal atau keteraturan rantai molekul yang diakibatkan adanya interaksi antara PVA, MMT dan CW. Aini (2016) menjelaskan adanya penambahan selulosa mengakibatkan peningkatan fase kristalin pada plastik yang dihasilkan. Peningkatan fase kristalin akibat penambahan MMT dan CW juga dapat meningkatkan suhu penurunan bobot sebesar 77.3% (Niu *et al.* 2015) dan meningkatkan kemampuan degradasinya sebesar 61.5%/hari (Ibrahim *et al.* 2010). Meningkatnya kristalinitas dari plastik mengakibatkan semakin baiknya sifat mekanik dan termal dari plastik komposit yang dihasilkan. Hal tersebut juga dibuktikan dengan semakin meningkatnya nilai kuat tarik dan perpanjangan putus dari plastik saat adanya penambahan MMT dan SW.

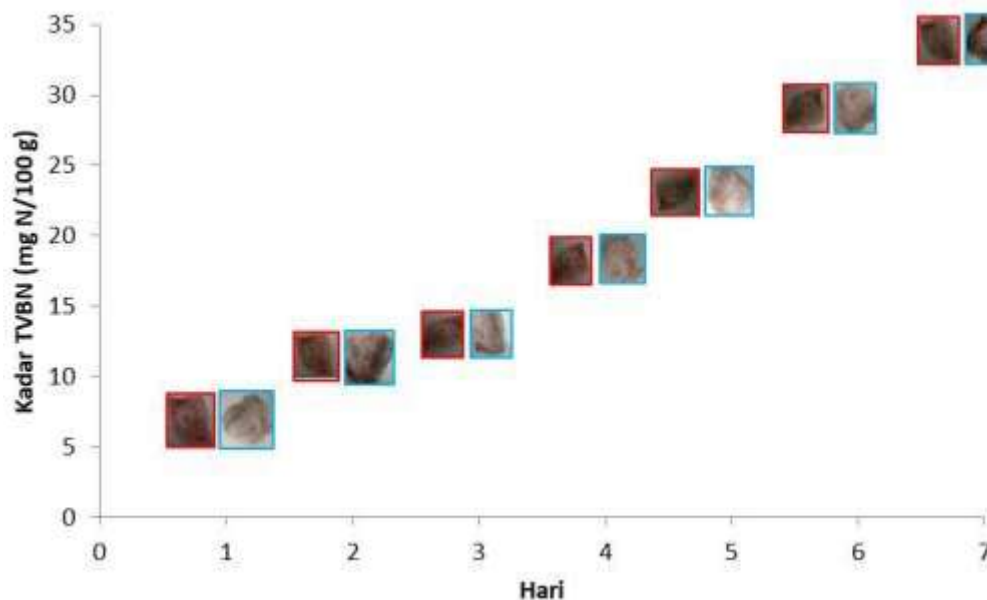
Pengujian plastik Indikator pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Plastik indikator yang telah dihasilkan selanjutnya diaplikasikan untuk mendeteksi kerusakan pada ikan nila. Plastik indikator digunakan untuk menangkap senyawa basa yang mudah menguap yang dilepaskan oleh filet ikan nila selama proses kemunduran mutu dan ditandai dengan perubahan warna dari merah menjadi kuning.



Gambar 7. Filet ikan yang dibungkus (a) kemasan cerdas sebelum terjadi perubahan warna, (b) kemasan cerdas setelah terjadi perubahan warna, (c) plastik *wrap* komersial

SNI 2354.8.2009 menyebutkan bahwa batas maksimum kadar TVBN pada ikan segar adalah 20 mg N/100 g. Menurut Lerke *et al.* (1965) ikan dengan kadar TVB diantara 20-30 mg N/100 g masih layak untuk dikonsumsi, sedangkan untuk ikan dengan kadar TVBN lebih dari 30 mg N/ 100 g sudah tidak layak untuk dikonsumsi.



Gambar 8. Grafik peningkatan kadar TVBN

Hasil pengukuran TVBN menunjukkan ikan dalam kategori segar pada masa penyimpanan dibawah 4 hari, atau kadar TVBN masih dibawah 20 mg N/100 g, hal ini juga ditandai dengan belum terjadinya proses perubahan warna pada plastik indikator, dan pada saat memasuki hari ke 5, kadar TVBN menunjukkan angka 20.365 mg N/100

g. Ikan memasuki kategori tidak layak dikonsumsi pada masa penyimpanan selama 7 hari, dengan kadar TVBN 32.89 mg N/100 g yang ditandai dengan perubahan plastik indikator dari berwarna merah menjadi kuning.

SIMPULAN

Isolasi selulosa dari bagas tebu telah berhasil dilakukan dengan kandungan α - selulosa 74.33% dan lignin 1.89%. Rendemen isolat selulosa yang diperoleh sebesar 36.2%. Penambahan montmorilonit dan selulosa *whiskers* pada plastik komposit berhasil meningkatkan nilai kuat tarik, perpanjangan putus, dan kristanilitasnya. plastik komposit berhasil digunakan untuk memonitor tingkat kesegaran ikan berdasarkan perubahan warna dari merah menjadi kuning seiring dengan peningkatan nilai TVBN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdelrazek EM, Elashmawi IS, Labeeb S. 2010. Chitosan filler effects on the experimental characterization , spectroscopic investigation and thermal studies of PVA /PVP blend films. *Physica B: Physics of Condensed Matter*. 405 (8): 2021– 2027.
- [2] Abidi N, Cabrales L, Haigler CH. 2014. Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated by FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*. 100: 9–16.
- [3] Aini Z. 2016. Aplikasi Selulosa Whisker bagas Tebu sebagai Penguat dalam film komposit berbasis PVA/MMT [Tesis] Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

- [4] Arjmandi R, Hassan A, ichhorn SJ. 2015. Enhanced ductility and tensile properties of hybrid montmorillonite / cellulose nanowhiskers reinforced polylactic acid nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*. 50 (3): 3118–3130.
- [5] Azeredo HMCDe. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*. 142 (9): 1240–1253.
- [6] Bahmid NA, Syamsu K, Maddu A. 2013. Production of Cellulose Acetate from Oil Palm Empty Fruit Bunches Cellulose Production of Cellulose Acetate from Oil Palm Empty Fruit Bunches Cellulose. *Chemical and Process Engineering Research*. 7 (13).
- [7] Bondeson D, Mathew A, Oksman K. 2006. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis. *Cellulose*. 13 (2): 171–180.
- [8] Breslin VT. 1993. Degradation of starch-plastic composites in a municipal solid waste landfill. *Journal of Environmental Polymer Degradation*. 1 (2): 127–141.
- [9] Brinchi L, Cotana F, Fortunati E, Kenny JM. 2013. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass : Technology and applications. *Carbohydrate Polymers*. 94(1): 154–169.
- [10] Chaudhry Q, Scotter M, Blackburn J, Ross B, Boxall A, Castle L, Aitken R, Watkins R. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 25 (3): 241–258.
- [11] Ibrahim MM, El-zawawy WK, Nassar MA. 2010. Synthesis and characterization of polyvinyl alcohol / nanospherical cellulose particle films. *Carbohydrate Polymers*. 79 (3): 694–699.
- [12] Jamshidian M, Tehrani EA, Imran M, Jacquot M, Desobry S. 2010. Poly-Lactic Acid: Production, applications, nanocomposites, and release studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 9 (5): 552–571.
- [13] Khan A, Khan RA, Salmieri S, Le C, Riedl B, Bouchard, J, Chauve G, Tan V, Kamal MR, Lacroix M. 2012. Mechanical and barrier properties of nanocrystalline cellulose reinforced chitosan based nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*. 90 (4): 1601–1608.
- [14] Lerke P, Adams R, Farber L. 1965. Bacteriology of Spoilage of Fish Muscle. *American Society for Microbiology*. 13 (4): 625-629.
- [15] Morais EDe, Jessika T, Bruna K, Teodoro R, Carolina A, Manoel J, Mattoso, C. 2011. Sugarcane bagasse whiskers : Extraction and characterizations. *Industrial Crops & Products*. 33 (1): 63–66.
- [16] Niu Y, Zhang X, He X, Zhao J, Zhang W, Lu C. 2015. International Journal of Biological Macromolecules Effective dispersion and crosslinking in PVA / cellulose fiber biocomposites via solid-state mechanochemistry. *International journal of biological macromolecul*. 72: 855–861.
- [17] Petinakis E, Yu AL, Edward AG, Dean K, Liu, AH, Scully AAD. 2009. Effect of Matrix – Particle Interfacial Adhesion on the Mechanical Properties of Poly (lactic acid). *Wood-Flour Micro-Composites*. 17 (09): 83–94.
- [18] Pluta M, Galeski A, Alexandre M, Paul M, Dubois P. 2002. Poly lactide / Montmorillonite Nanocomposites and Microcomposites Prepared by Melt Blending : Structure and Some Physical Properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 86: 1497-1506.
- [19] Purwaningsih H. 2012. *Rekayasa biopolimer dari limbah pertanian berbasis selulosa dan aplikasinya sebagai material separator [disertasi]*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- [20] Ray SS, Yamada K, Ogami A, Okamoto M, Ueda K. 2002. New polylactide/ layered silicate nanocomposite: Nanoscale control over multiple properties. *Macromolecular Rapid Communications*. 23 (16), 943–947.
- [21] Samsuri M, Gozan M, Mardias RM, Baiquni M, Hermansyah H, Wijanarko A, Prasetya B, Nasikin M. 2010. Pemanfaatan Sellulosa Bagas Untuk Produksi Ethanol Melalui

- Sakarifikasi Dan Fermentasi Serentak Dengan Enzim Xylanase. *MAKARA of Technology Series*. 11 (1): 17-24.
- [22] Silvestre C, Duraccio D, Cimmino S. 2011. Food packaging based on polymer nanomaterials. *Polymer Science*. 36 (12): 1766–1782.
- [23] Siqueira G, Varnai A, Ferraz A, Milagres AMF. 2013. Enhancement of cellulose hydrolysis in sugarcane bagasse by the selective removal of lignin with sodium chlorite. *Applied Energy*. 102: 399–402.
- [24] Sun JX, Sun XF, Zhao H, Sun RC. 2004. Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymdegradstab*. 84: 331–339.
- [25] Tang X, Alavi S. 2011. Recent advances in starch , polyvinyl alcohol based polymer blends , nanocomposites and their biodegradability. *Carbohydrate Polymers*. 85(1): 7–16.
- [26] Wilkinson AN, Man Z, Lees GC, Liauw CM. 2007. Science and Tensile properties of melt intercalated polyamide 6 – Montmorillonite nanocomposites. *Composites science and technologi*. 67: 3360–3368.